

PERILAKU PENGEMBANGAN TANAH LEMPUNG AKIBAT PENGURANGAN BEBAN DI BANGUNAN BENUA INDAH PONTIANAK

Victor Otto Iskandar ¹⁾, Eka Priadi ²⁾, Aswandi ²⁾

Abstrak

Tanah merupakan salah satu material yang dipergunakan untuk membangun dalam dunia konstruksi. Dari berbagai jenis tanah, tanah lempung adalah tanah yang banyak ditemukan dalam mayoritas masalah keteknikan, karena tanah lempung merupakan tanah yang kohesif. Tanah lempung merupakan tanah dengan karakteristik yang dapat mengalami penyusutan (shrinkage) dan pengembangan (swelling) yang besar tergantung dari pengaruh tinggi muka air tanah dan mineral lempung dari tanah itu sendiri. Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam analisa pengembangan (swelling) pada tanah lempung yaitu potensi mengembang (swelling potential) tanah akibat pengaruh air dan pengurangan beban (unloading) pada tanah yang akan di analisis dimana terdapat bangunan di atasnya. Tanah yang akan dianalisis berlokasi di Kota Pontianak, Jalan Teuku Umar, bangunan eks Benua Indah Pontianak. Bangunan ini merupakan bangunan lama yang direnovasi kembali, yang terdapat pekerjaan pengurangan tingkat bangunan. Analisis pengembangan tanah (swelling) dapat dilakukan dengan penelitian di laboratorium dan juga perhitungan secara manual berdasarkan skema permodelan pengurangan beban tingkat bangunan. Hasil penelitian dan perhitungan menyimpulkan tingkat pengembangan tanah (swelling) termasuk rendah, sehingga pada pekerjaan pengurangan beban tingkat bangunan tidak menimbulkan bahaya kerusakan bangunan akibat kenaikan tanah (heave).

Kata Kunci: Tanah Lempung, Swelling, Unloading, Heave, Skema Permodelan Bangunan

1. PENDAHULUAN

Dari berbagai jenis tanah, tanah lempung adalah tanah yang banyak ditemukan dalam mayoritas masalah keteknikan, karena tanah lempung merupakan tanah yang kohesif. Tanah kohesif didefinisikan sebagai kumpulan dari partikel mineral dengan indeks plastisitas yang cukup tinggi tergantung dari jumlah mineral yang terkandung di dalamnya sehingga pada waktu mengering akan membentuk suatu massa tanah yang bersatu sehingga diperlukan suatu gaya untuk memisahkan setiap butiran mikroskopisnya.

Tanah lempung dapat mengalami perubahan volume seiring dengan perubahan kadar air. Ketika tanah lempung dalam keadaan kering dapat terjadi penyusutan dan retak-retak. Apabila kadar air bertambah setelah kondisi kering dan penyusutan, maka akan terjadi pengembangan (swelling). Hal ini dikarenakan jenis mineral yang

terdapat di tanah lempung sangat mempengaruhi besar swelling. Selain itu, pengaruh dari beban konstruksi juga dapat mempengaruhi perubahan volume tanah lempung. Ketika beban yang diterima tanah dikurangi maka tanah akan mengalami pengembangan. Ketika beban yang diterima tanah mengalami penambahan, maka tanah akan lebih memadat dan menyusut.

Objek tanah yang akan dianalisis berada di Kota Pontianak, yaitu bangunan Benua Indah Pontianak yang merupakan bangunan tinggi dengan fungsi bangunan berupa hotel dan perkantoran. Studi kasus dilakukan di bangunan ini dengan pertimbangan sebagai bangunan lama yang direnovasi kembali, sehingga terdapat pekerjaan pengurangan tingkat bangunan. Pengurangan beban karena pengurangan tingkatan lantai yang terdapat di bangunan akan mempengaruhi kondisi perilaku tanah lempung, sehingga perlu dikaji dan

dianalisis agar menjadi salah satu faktor yang dipertimbangkan dalam konstruksi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mineral Lempung

Mineral lempung terutama terdiri dari silikat aluminium atau besi dan magnesium. Beberapa di antaranya juga mengandung alkali atau tanah alkalin sebagai komponen dasarnya. Mineral-mineral ini terutama terdiri dari kristalin di mana atom-atom yang membentuknya tersusun dalam suatu pola geometrik tertentu. Sebagian besar mineral lempung mempunyai struktur berlapis. Beberapa di antaranya mempunyai bentuk silinder memanjang atau struktur yang berserat.

Cluster adalah tumpukan satuan yang berlapis tipis atau kumpulan satuan silinder atau serat. Massa tanah biasanya mengandung campuran beberapa mineral lempung yang diberi nama sesuai dengan mineral lempung yang terbanyak dengan berbagai jumlah mineral bukan lempung lainnya. Mineral lempung berukuran sangat kecil (kurang dari $2\mu\text{m}$) dan merupakan partikel yang aktif secara elektrokimiawi yang hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron.

2.2 Karakteristik Tanah Lempung Lunak

Tanah lempung lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang sebagian terbesar terdiri dari butir-butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Sifat lapisan tanah lempung lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampatan yang besar, koefisien permeabilitas yang kecil dan mempunyai daya dukung rendah dibandingkan tanah lempung lainnya.

Tanah-tanah lempung lunak secara umum mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- Kuat geser tanah yang rendah.
- Berkurang kuat geser apabila kadar air bertambah.

- Berkurang kuat geser apabila struktur tanahnya terganggu.
- Bila basah, bersifat plastis dan mudah mampat.
- Menyusut bila kering dan mengembang bila basah
- Kompresibilitasnya besar.
- Berubah volumenya dengan bertambahnya waktu akibat rangkai pada beban yang konstan.
- Merupakan material kedap air.

2.3 Definisi Tanah Mengembang

Tanah mengembang atau disebut juga dengan *expansive soil*, adalah tanah yang memiliki ciri-ciri kembang susut yang besar, mengembang pada musim hujan dan menyusut pada musim kemarau. Besarnya pengembangan atau penyusutan tidak merata dari suatu titik ke titik lainnya sehingga menimbulkan differential movement. Proses pengembangan (*swelling*) dan penyusutan (*shrinking*) tanah sebagian besar adalah akibat peristiwa kapiler atau perubahan kadar air pada tanah.

2.4 Mekanisme Swelling

Swelling dapat disebabkan oleh hal-hal berikut:

2.4.1. Mekanisme Fisika-Kimia Tanah

Air masuk diantara partikel-partikel tanah, misalnya *Montmorillonite* akan menyebabkan jarak antar unit dasar semakin besar sehingga hal ini menyebabkan bertambah besarnya volume tanah. Air tertarik ke sekeliling partikel sehingga menyebabkan berkurangnya tegangan efektif dari tanah dan mengurangi tegangan pengikat antar unit partikel.

Swelling disebabkan oleh mineral yang ada di dalam lempung. Lempung yang banyak mengandung *Montmorillonite* akan lebih besar tingkat *swelling*-nya daripada tanah yang mengandung *Kaolinite*. Besarnya *swelling* ditentukan oleh kimia tanah atau banyaknya kation dalam tanah, terutama dengan valensi yang lebih

tinggi yang berfungsi sebagai pengikat antarpartikel lempung dan mengurangi pembesaran jarak antarpartikel. Jadi, kembang susut tanah dapat dikurangi dengan cara menambah kation-kation ke dalam tanah. Kation tersebut merupakan ion-ion positif K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} yang diperoleh dari senyawa karbonat.

2.4.2. Kebalikan Peristiwa Kapiler

Kebalikan peristiwa kapiler yaitu mengecilnya tegangan kapiler akibat penjumlahan yang menyebabkan berkurangnya tegangan efektif tanah, yang cenderung mengembangkan dan mengembalikan volume tanah kepada volume semula.

3. METODE PENELITIAN

Objek tanah yang akan dianalisis berlokasi di Kota Pontianak, Jalan Teuku Umar, bangunan eks Benua Indah Pontianak. Bangunan ini merupakan bangunan tinggi dengan fungsi bangunan berupa hotel dan perkantoran. Bangunan ini merupakan bangunan lama yang direnovasi kembali, yang terdapat pekerjaan pengurangan tingkat bangunan.



Gambar 1. Lokasi objek penyelidikan tanah

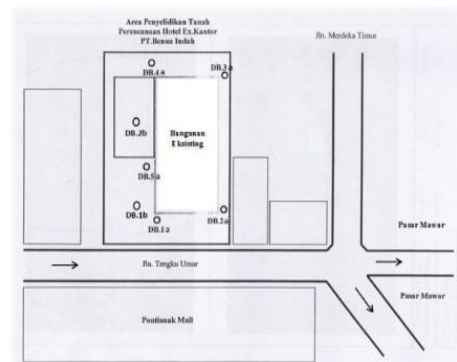
Tahapan metode penelitian meliputi :

- Penelitian sifat dan karakteristik tanah asli.
- Penelitian *swelling potential* tanah, penelitian ini menggunakan alat

konsolidometer satu dimensi dibawah beban vertikal sebesar 0.05 kg/cm^2 .

- Analisis data tanah yang didapat dari hasil penyelidikan oleh tim lab mekanika tanah Universitas Tanjungpura, Pontianak dimana meninjau 5 (lima) titik pekerjaan bor dalam (*Deep Boring*) masing-masing : DB.1a, DB.2a, DB.3a, DB.4a dan DB.5a dan tim lab mekanika tanah Tarumanegara Bumiaya, Jakarta dimana meninjau 2 (dua) titik bor dalam (*Deep Boring*) masing-masing : DB.1b dan DB.2b seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

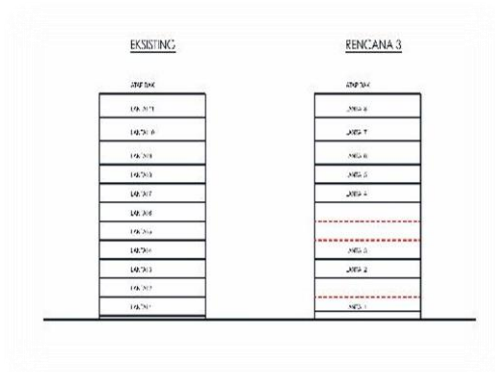
No. Sampel	Swelling Potential (%)
1	1,020
2	0,680
3	2,061
Rata-rata	1,253



Gambar 2. Denah area penyelidikan tanah

Analisa model skema bangunan, model skema bangunan akan terbagi menjadi 3 model. Dari permodelan tersebut akan dilakukan perhitungan besarnya unloading dari pengembangan tanah, dan perhitungan beban bangunan untuk ketiga model bangunan sehingga dengan ketiga model tersebut akan

didapatkan kesimpulan dari hasil perhitungan.



Gambar 3. Skema pengurangan tingkat bangunan

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Swelling Potential Tanah

Percobaan *Swelling Potential* dilakukan pada 3 sampel tanah. Masing-masing sampel menghasilkan nilai *swelling potential* yang berbeda. Sampel

tanah pertama dan kedua diambil pada kedalaman 1,5m – 2m, sedangkan sampel tanah ketiga di kedalaman 0,5m – 1m. Berturut-turut nilai *swelling potential* untuk sampel 1, 2, dan 3 adalah 1,020 %; 0,680 % dan 2,061 %.

4.2 Analisa Data Tanah Sekunder

Hasil analisa data sekunder berupa sifat-sifat fisik dan mekanis dari tanah tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Dari tabel tersebut dapat dijelaskan bahwa data-data yang diperlukan dalam analisa data antara lain : berat isi tanah diatas muka air tanah (γ), berat isi tanah di bawah muka air tanah (γ_{sat}), nilai angka pori (e), liquid limit (LL), indeks plastisitas (IP), degree of saturation (S_r), koefisien kompresi tanah (C_c) dan koefisien pengembangan tanah (C_s).

Tabel 2. Analisa data tanah sekunder

No.	Kedalaman (m)	Keterangan		Boring No.							Kesimpulan	
				DB.1a	DB.1b	DB.2a	DB.2b	DB.3	DB.4	DB.5		
1.	0,00 - 3,00	γ	(t/m ³)	1,601					1,512		1,557 (t/m ³)	15,269 (kN/m ³)
		γ_{sat}	(t/m ³)	1,601					1,512		1,557 (t/m ³)	15,269 (kN/m ³)
		e		1,954					2,301		2,128	2,128
		LL	%	86,616					63,426		75,021 %	75,021 %
		IP	%	49,334					33,032		41,183 %	41,183 %
		Sr	%	100,000					100,000		100,000 %	100,000 %
		Cc		1,053					0,997		1,025	1,025
		Cs		0,158					0,150		0,154	0,154
2.	3,00 - 6,00	γ	(t/m ³)	1,564		1,577		1,673	1,579	1,800	1,639 (t/m ³)	16,075 (kN/m ³)
		γ_{sat}	(t/m ³)	1,564		1,577		1,673	1,637	1,800	1,650 (t/m ³)	16,188 (kN/m ³)
		e		2,181		2,026		1,882	1,578	1,197	1,773	1,773
		LL	%	86,606		65,362		58,590	61,510	80,050	70,424 %	70,424 %
		IP	%	48,157		25,621		27,113	25,329	40,614	33,367 %	33,367 %
		Sr	%	100,000		100,000		100,000	90,532	100,000	98,106 %	98,106 %
		Cc		1,188		1,053		1,102	0,595	1,036	0,995	0,995
		Cs		0,179		0,158		0,166	0,089	0,156	0,150	0,150
3.	6,00 - 10,00	γ	(t/m ³)	1,625		1,646		1,615	1,554		1,610 (t/m ³)	15,794 (kN/m ³)
		γ_{sat}	(t/m ³)	1,625		1,646		1,615	1,554		1,610 (t/m ³)	15,794 (kN/m ³)
		e		1,857		1,661		2,215	2,133		1,967	1,967
		LL	%	65,188		62,745		82,849	83,259		73,510 %	73,510 %
		IP	%	36,550		34,071		46,151	49,131		41,476 %	41,476 %
		Sr	%	100,000		100,000		100,000	100,000		100,000 %	100,000 %
		Cc		1,290		0,744		1,554	1,089		1,169	1,169
		Cs		0,194		0,112		0,234	0,164		0,176	0,176
4.	10,00 - 16,00	γ	(t/m ³)	1,840	1,097	1,683	1,184		1,880	1,848	1,589 (t/m ³)	15,585 (kN/m ³)
		γ_{sat}	(t/m ³)	1,840	1,691	1,683	1,754		1,880	1,848	1,783 (t/m ³)	17,488 (kN/m ³)
		e		1,208	1,460	1,603	1,320		0,943	1,184	1,286	1,286
		LL	%	58,457	56,980	64,774	61,780		47,670	56,303	57,661 %	57,661 %
		IP	%	31,421	35,560	35,197	38,100		26,475	26,593	32,224 %	32,224 %
		Sr	%	100,000	98,830	100,000	99,380		100,000	100,000	99,702 %	99,702 %
		Cc		0,743	0,610	0,621	0,710		1,393	0,502	0,763	0,763
		Cs		0,112	0,080	0,093	0,100		0,210	0,075	0,112	0,112
5.	16,00 - 20,00	γ	(t/m ³)		1,339	1,653	1,033			1,833	1,465 (t/m ³)	14,367 (kN/m ³)
		γ_{sat}	(t/m ³)		1,837	1,653	1,642			1,858	1,748 (t/m ³)	17,144 (kN/m ³)
		e			0,990	1,501	1,560			0,996	1,262	1,262
		LL	%			70,739	68,240			51,285	63,421 %	63,421 %
		IP	%			36,201	46,400			25,989	36,197 %	36,197 %
		Sr	%			100,000	98,330			94,914	97,748 %	97,748 %
		Cc				0,410	0,743	0,890		0,399	0,611	0,611
		Cs				0,110	0,112	0,100		0,060	0,095	0,095
6.	20,00 - 29,00	γ	(t/m ³)		1,393		1,275			1,585	1,418 (t/m ³)	13,907 (kN/m ³)
		γ_{sat}	(t/m ³)		1,864		1,794			1,585	1,748 (t/m ³)	17,145 (kN/m ³)
		e			0,890		1,080			2,110	1,360	1,360
		LL	%				52,680			33,550	43,115 %	43,115 %
		IP	%				30,120			11,125	20,623 %	20,623 %
		Sr	%				98,370			100,000	99,185 %	99,185 %
		Cc				0,530	0,640			0,502	0,557	0,557
		Cs				0,070	0,110			0,075	0,085	0,085

Catatan :

- Nilai SR = 100 % maka $\gamma = \gamma_{sat}$
- 1 kg/cm² = 10 t/m²
- 1 t = 9,81 kN
- koefisien Cs = 1/6,65

4.3 Perhitungan Penurunan

Hasil perhitungan penurunan ditunjukkan di Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan penurunan

Sub lapisan	Lapisan 1 (6m - 10m)	Lapisan 2 (10m - 16m)	Lapisan 3 (16m - 20m)	Lapisan 4 (20m - 29m)
$\gamma_{sat} \text{ (KN/m}^3\text{)}$	15,794	17,488	17,144	17,145
$\gamma_{eff} = \gamma_{sat} - 9,81$	5,984	7,678	7,334	7,335
$C_{c(i)}$	1,169	0,763	0,611	0,557
e_o	1,967	1,286	1,262	1,360
$H_i \text{ (m)}$	2,000	6,000	4,000	9,000
$z_i \text{ (m)}$	1,000	5,000	10,000	16,500
$Q_g \text{ (KN)}$	48202,985	48202,985	48202,985	48202,985
$\Delta p_{(i)} \text{ (KN/m}^2\text{)}$	60,595	46,105	34,357	24,815
$p_{o(i)} \text{ (beban sendiri)}$	53,463	82,481	120,182	167,855
$\log \frac{p_{o(i)} + \Delta p_{(i)}}{p_{o(i)}}$	0,329	0,193	0,109	0,060
$(C_c \cdot H_i) \div (1 + e_o) \text{ (cm)}$	78,830	200,277	107,969	212,542
$S_i \text{ (cm)}$	25,941	38,621	11,790	12,727
$\sum S_i \text{ (cm)}$	89,079			

4.4. Perhitungan Unloading

Hasil perhitungan *unloading* ditunjukkan di Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan *unloading*

Sub lapisan	Lapisan 1 (6m - 10m)	Lapisan 2 (10m - 16m)	Lapisan 3 (16m - 20m)	Lapisan 4 (20m - 29m)
$H_i = (H_i - S_i) \text{ (cm)}$	175,860	564,218	388,812	887,878
$z_i \text{ (cm)}$	87,930	457,969	934,484	1572,830
e_2	1,210	0,417	0,999	1,064
$S_i/100(1 + e_2)$	-0,027	-0,027	-0,008	-0,008
e_3	1,237	0,443	1,007	1,072
$C_{s(i)}$	0,176	0,112	0,095	0,085
$\gamma_{eff} \text{ (KN/m}^3\text{)}$	5,984	7,678	7,334	7,335
$p_{o(i)} \text{ (beban sendiri)}$	52,741	79,663	115,580	162,398
$q \text{ (beban lantai)}$	-11314,158	-11314,158	-11314,158	-11314,158
$\Delta p_{(i)} \text{ (KN/m}^2\text{)}$	-14,350	-11,117	-8,360	-6,037
$\log \frac{p_{o(i)} + \Delta p_{(i)}}{p_{o(i)}}$	-0,138	-0,065	-0,033	-0,016
$(C_s \cdot H_i) \div (1 + e_3) \text{ (cm)}$	13,826	43,659	18,488	36,493
$S_i \text{ (cm)}$	-1,907	-2,850	-0,603	-0,600
$\sum S_i \text{ (cm)}$	-5,960			

4.5. Perhitungan Pengembangan Akibat Swelling Potential

Swelling Potential didefinisikan sebagai besarnya pengembangan vertikal dari sampel tanah yang berada pada *oedometer (steel ring)*, di bawah beban vertikal serta diberikan akses kepada air di dasar sampel tanah. Diasumsikan *swelling potential* pada tiap lapisan adalah sama. Nilai rata-rata *swelling potential* yaitu sebesar 1,253 %.

Perhitungan dimulai pada lapisan tanah yang mengalami distribusi beban dimana tinggi lapisan tanah lempung pertama adalah 2 m, lapisan tanah lempung kedua 6 m, lapisan tanah lempung ketiga 4 m, dan lapisan tanah lempung keempat 9 m. Dengan menggunakan persamaan diatas didapat besarnya pengembangan tanah yang terjadi sebesar :

$$\Delta S = 0,01253 \frac{(200+600+400+900)}{100} = 0,263 \text{ cm}$$

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa perhitungan yang sudah dilakukan, dapat dilakukan penarikan kesimpulan sebagai berikut :

- Total penurunan konsolidasi metode perhitungan pertama adalah sebesar 89.079 cm dan total penurunan konsolidasi dengan metode kedua adalah sebesar 110.704 cm akibat berat total bangunan yang membebani tanah sebesar 4913.658 ton / 48202.985 kN. Hasil perhitungan dengan metode kedua lebih besar 21.625 cm dari metode perhitungan penurunan pertama. Perbedaan ini disebabkan oleh persamaan penambahan tegangan efektif yang digunakan dalam perhitungan masing-masing metode. Hasil yang digunakan dalam perhitungan unloading selanjutnya adalah penurunan

dengan nilai yang terkecil sehingga hasil perhitungan *unloading* akan didapat lebih besar untuk memperlihatkan kondisi paling kritis saat terjadi *unloading* yang diakibatkan oleh pengurangan beban tingkat bangunan.

- Perhitungan *unloading* akibat pengurangan beban tingkat dilakukan berdasarkan 3 permodelan pengurangan beban tingkat bangunan. Permodelan pertama sebesar 1.935 cm, permodelan kedua 3.913 cm, dan permodelan ketiga sebesar 5.960 cm. Hasil perhitungan pada permodelan kedua dan ketiga adalah hasil perhitungan secara kumulatif dari perhitungan permodelan yang pertama dikarenakan kondisi terakhir pada perhitungan sebelumnya menjadi kondisi awal untuk perhitungan selanjutnya. Sehingga jika dijabarkan masing-masing permodelan, unloading yang terjadi sebesar 1.935 cm, 1.978 cm, dan 2.047 cm. Dengan pengurangan beban tingkat masing-masing permodelan dengan berat 390.715 ton, 772.022 ton, dan 1153.329 ton dapat disimpulkan untuk setiap pengurangan beban sebesar 196.567 ton, terjadi *unloading* sebesar 1 cm.
- Pada perhitungan total pengembangan akibat *swelling potential* didapatkan nilai pengembangan yang terjadi sebesar 0.263 cm dari 4 lapisan tanah lempung dibawah beban yang bekerja dengan menggunakan asumsi nilai *swelling potential* masing-masing lapisan tanah lempung sama yakni sebesar 1.253%.
- Total pengembangan maksimal yang terjadi akibat pengurangan beban tingkat bangunan dan

swelling potential adalah sebesar $5.960 \text{ cm} + 0.263 \text{ cm} = 6.223 \text{ cm}$. Dari hasil analisa perhitungan tersebut, penurunan > pengembangan yang terjadi. Maka dapat disimpulkan bangunan aman terhadap pengembangan tanah akibat pengurangan beban tingkat bangunan dan akibat *swelling potential* tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowless, J.E. 1988. *Analisis dan Desain Fondasi*. (Jilid 2, Edisi ke-4). Jakarta: Erlangga.
- Bowless, Joseph E. 1989. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. (Mekanika Tanah Edisi ke-2). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Das, Braja M., 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Sutarman, E. 2013. *Konsep dan Aplikasi Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Penerbit Andi.